

Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción

Luis Fernando Botero Botero

RESUMEN

Este artículo es el resultado de una investigación sobre rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción de proyectos de vivienda de interés social en mampostería estructural. Durante seis meses se realizaron observaciones y se tomaron datos suficientes para ser analizados estadísticamente.

Como resultado, se inició la conformación de una base de datos sobre consumos de mano de obra, que incluye los factores que inciden sobre dicho consumo.

Como aplicación práctica de la investigación, se desarrolló un software con el cual es posible predecir el consumo de mano de obra en las actividades estudiadas, a partir de la calificación de los factores de afectación.

ABSTRACT

This paper is the result of a project research about construction man-hour in building activities for houses built by means of structural masonry system. During six months many observations were carried out, getting enough information in order to be statistically analyzed.

As a result, a data base about construction activities man-hours took form, including several factors which affect them.

With the obtained outcome, a comparison with the building firm man-hours cost was established.

Likewise, as a research practical application, a software was developed, which calculates the construction man-hours for each one of the studied construction activities, by qualifying the influential factor (independent variables) in man-hours.

PALABRAS CLAVES

• Vivienda de interés social • Mano de obra • Costos de construcción

Fecha de recepción: 17 de enero de 2002 Fecha de aceptación: 31 de enero de 2002

LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO. Arquitecto Constructor. Especialista en gerencia de empresas de ingeniería. Docente, departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT.

E-mail: lfbotero@eafit.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En el proceso del desarrollo de un proyecto de construcción, la elaboración del presupuesto y la programación de obra juegan un papel fundamental, ya que establecen anticipadamente el costo y la duración del mismo, indispensables para determinar la viabilidad del proyecto.

Con base en planos y especificaciones se realizan los cálculos de cantidades de obra, se elaboran los análisis de precios unitarios de las diferentes actividades de construcción, estableciendo los valores parciales agrupados por capítulos, los cuales sumados determinan el costo total de la construcción del proyecto.

Si bien hoy, existen algunas herramientas informáticas que facilitan la elaboración de presupuestos y programas de construcción, el análisis y las consideraciones asumidas por el profesional de la construcción influyen considerablemente en la confiabilidad de los resultados.

Ha sido tradicional la utilización de bases de datos comerciales sobre rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción, como soporte en el análisis del costo y tiempo del proyecto a ejecutar. Los estimativos allí presentados se alejan muchas veces de la realidad, generando en el sector gran desconfianza, debido a su alta dispersión.

Los rendimientos y consumos utilizados en la presupuestación y programación de obras, deben estar fundamentados en múltiples observaciones y análisis estadísticos, que consideren las condiciones particulares en las cuales se realizan las diferentes actividades de construcción.

De esta forma, la fase de planeación, tan importante y muchas veces descuidada en la industria de la construcción, ayudará a los constructores a la obtención del éxito en los proyectos y se convertirá en punto de partida para la medición del desempeño del recurso humano, requisito indispensable para mejorar la productividad y competitividad de la industria de la construcción en nuestro país.

2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A pesar de que en nuestro medio existen bases de datos comerciales en las que se describen los diferentes rendimientos y consumos de mano de obra para actividades

de construcción, su utilización está condicionada por un alto grado de desconfianza entre los profesionales de la construcción, quienes han modificado sus datos de acuerdo con sus necesidades o conveniencias, convirtiéndolos hasta la fecha en intentos aislados, que sumados a varios trabajos de grado presentados por estudiantes de Arquitectura e Ingeniería, presentan una alta variación, pues no comparten una metodología para la toma y registro de datos, lo cual no los hace confiables.

Como preocupación permanente en la obtención de tan anhelada base de datos, la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), seccional Antioquia y el SENA, encargaron en el año 2000 a las empresas constructoras PSI S.A. y GDV Ingeniería S.A. para desarrollar una metodología que permita en forma normalizada la obtención de datos en proyectos de construcción con el fin de conformar la base de datos para el Valle de Aburrá y que posteriormente pueda extenderse a todo el país.

La metodología sobre la toma de datos en obra, planeada por los ingenieros Antonio Cano R. y Gustavo Duque V., se convierte en el punto de partida para la recolección en forma sistemática de datos, con lo cual es posible obtener la base de datos confiables de actividades de construcción.

En el proceso del desarrollo de un proyecto de construcción, la elaboración del presupuesto y la programación de obra juegan un papel fundamental, ya que establecen anticipadamente el costo y la duración del mismo, indispensables para determinar la viabilidad del proyecto.

3. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Partiendo de una metodología existente, se desarrolla el presente proyecto de investigación, el cual pretende obtener suficientes datos sobre rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de la construcción, para ser analizados de una manera estadística e iniciar la elaboración de una base de datos confiable de permanente utilización por los profesionales y las empresas constructoras del medio y del país.

Como las actividades de construcción son múltiples, se abordaron aquellas realizadas en proyectos de vivienda de

interés social, por ser estos proyectos los que mayor proyección y desarrollo presenta para los próximos años, de acuerdo con las necesidades del país y las políticas gubernamentales, esperando que este primer trabajo se convierta en multiplicador de experiencias y motivador para continuar analizando las demás actividades del proceso constructivo en otro tipo de proyectos.

Partiendo de una metodología existente, se desarrolla el presente proyecto de investigación, el cual pretende obtener suficientes datos sobre rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de la construcción, para ser analizados de una manera estadística e iniciar la elaboración de una base de datos confiable de permanente utilización por los profesionales y las empresas constructoras del medio y del país.

4. TEORÍA DEL CONSUMO Y RENDIMIENTO DE LA MANO DE OBRA

La mano de obra, como uno de los componentes en el proceso productivo, aparece como una de las variables que afectan la productividad. Como uno de los objetivos de todas las empresas es ser más competitivos, mejorando la productividad de sus procesos productivos, se hace necesario conocer los diferentes factores que afectan la mano de obra, clasificándolos y determinando una metodología para medir su afectación en los rendimientos y consumos de mano de obra de los diferentes procesos de producción.

Los conceptos rendimiento y consumo, se prestan a confusiones entre ingenieros y arquitectos de la construcción. Es necesario entonces precisar el significado de estos dos términos.

Rendimiento de mano de obra. Se define rendimiento de mano de obra, como la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla, compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad por unidad de recurso humano, normalmente expresada como um/hH (unidad de medida de la actividad por hora Hombre).

Consumo de mano de obra. Se define como la cantidad de recurso humano en horas-Hombre, que se emplea por

una cuadrilla compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad, para ejecutar completamente la cantidad unitaria de alguna actividad. El consumo de mano de obra se expresa normalmente en hH/um (horas - Hombre por unidad de medida) y corresponde al inverso matemático del rendimiento de mano de obra.

La eficiencia en la productividad de la mano de obra, puede variar en un amplio rango que va desde el 0%, cuando no se realiza actividad alguna, hasta el 100% si se presenta la máxima eficiencia teórica posible.

Enmarcados entre los dos anteriores límites, se encuentran los rendimientos y consumos reales de mano de obra obtenibles en cualquier condición, para los cuales se han definido diferentes rangos de acuerdo con la eficiencia en la productividad, como lo muestra la tabla 1, de acuerdo a la propuesta de John S. Page en su libro "*estimator's general construction man - hour manual*".

TABLA 1
Clasificación de la eficiencia en la productividad de la mano de obra

EFICIENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD	RANGO
Muy baja	10% - 40%
Baja	41% - 60%
Normal (promedio)	61% - 80%
Muy buena	81% - 90%
Excelente	91% - 100%

Fuente: Estimator's general construction man - hour manual, John S. Page

Se considera como normal o promedio, el rango de eficiencia en la productividad comprendido entre 61% y 80%, por lo tanto, se puede definir como el 70% el valor normal de productividad en la mano de obra, valor que puede ser afectado positiva o negativamente por diferentes factores, obteniéndose así rendimientos mayores o menores al promedio respectivamente.

5. FACTORES DE AFECTACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS Y CONSUMOS DE MANO DE OBRA

Cada proyecto de construcción es diferente y se realiza en diversas condiciones, derivándose en diferentes factores

que influyen positiva o negativamente en los rendimientos y consumos de mano de obra, como se dijo anteriormente, los cuales los podemos agrupar bajo siete categorías, como se muestra en la tabla 2.

TABLA 2
Factores que afectan el rendimiento
o consumo de mano de obra

1	Economía general
2	Aspectos laborales
3	Clima
4	Actividad
5	Equipamiento
6	Supervisión
7	Trabajador

Fuente: Estimator´s general construction man-hour manual, John S. Page. Adaptación de los Ingenieros Antonio Cano R y Gustavo Duque V, a nuestro medio.

5.1 Economía General

Este factor se refiere al estado económico de la nación o el área específica en donde se desarrolla el proyecto. Los aspectos a ser considerados dentro de esta categoría son los siguientes:

- Tendencias y resultados de los negocios en general
- Volumen de la construcción
- Situación del empleo

Si después de considerar los anteriores aspectos se concluye que la economía general es buena o excelente, la productividad tiende a rebajar, debido a que cuando los sectores están bien, se hace difícil encontrar mano de obra de buena calidad, supervisores competentes, teniendo que recurrir a personal inexperto. En el caso contrario, cuando la economía se encuentra en estados normales, la productividad tiende a mejorar, ya que bajo condiciones normales se dispone de personal calificado para realizar labores de supervisión y ejecución de las actividades.

La economía general en la que se desarrolla el proyecto, produce una reacción en cadena con las otras seis categorías, por lo tanto este aspecto debe ser considerado cuidadosamente.

Los factores que hacen parte de esta categoría y que deben ser tenidos en cuenta son los siguientes:

- Disponibilidad de mano de obra, en los casos de actividades que requieran personal calificado (oficiales de construcción)
- Disponibilidad de supervisores (maestros y residentes de obra)
- Disponibilidad de insumos

5.2 Aspectos Laborales

Existe una relación importante entre la productividad de la mano de obra y las condiciones laborales en que se realiza el proyecto. La disponibilidad de personal experto y capacitado en la zona donde se realizan los trabajos o la necesidad de desplazar personal de otros sitios con condiciones de pago algunas veces diferentes a las de la zona, son aspectos muy importantes a tener en cuenta. Los aspectos a considerar bajo esta categoría son los siguientes

- **Tipo de contrato.** El sistema de subcontratación a destajo favorece considerablemente el rendimiento obtenido, si se compara por un sistema de contratación por día laborado (personal de obra por administración).
- **Sindicalismo.** El contar con obreros sindicalizados, influye negativamente en el rendimiento de la mano de obra, ya que el sindicalismo mal entendido disminuye la productividad.
- **Incentivos.** La asignación de tareas o labores a destajo con recompensas por la labor cumplida, favorece el mejoramiento de la productividad de la mano de obra. Una clara y sana política de incentivos aumenta el rendimiento en las cuadrillas de trabajo.
- **Salarios o pago por labores a destajo.** La justa remuneración por la labor realizada, motiva al obrero a aumentar la productividad de la mano de obra.
- **Ambiente de trabajo.** Las relaciones cordiales entre compañeros y entre personal obrero y jefes, sumado a

un ambiente de trabajo con condiciones en las que se tengan en cuenta el factor humano, garantizan un mayor desempeño de la mano de obra.

- **Seguridad social.** La tranquilidad ofrecida por un sistema de seguridad social que cubra al trabajador y su familia, incentiva el rendimiento de la mano de obra.
- **Seguridad industrial.** La implementación y desarrollo de programas de seguridad industrial en los sitios de trabajo, disminuyen los riesgos que afectan negativamente la productividad de la mano de obra.

5.3 Clima

Los antecedentes del estado del tiempo en el área en la que se construye el proyecto deben ser considerados, tratando de prever las condiciones durante el periodo de ejecución de la obra. Los factores a considerar dentro de esta categoría son los siguientes:

- **Estado del tiempo.** Condiciones favorables del estado del tiempo en el momento de realizar las actividades, influyen positivamente en la obtención de mejores rendimientos.
- **Temperatura.** El exceso de calor afecta el desempeño del obrero.
- **Condiciones del suelo.** Las lluvias ocasionan condiciones críticas del estado del suelo donde las cuadrillas realizan las actividades, viéndose afectadas negativamente en su desempeño bajo condiciones críticas.
- **Cubierta.** Los factores negativos de la condición del tiempo, pueden ser mitigados si se realizan las actividades bajo cubierta, en cuyo caso se favorece el rendimiento de la mano de obra.

5.4 Actividad

Las condiciones específicas de la actividad a realizar, las relaciones con otras actividades, el plazo para la ejecución de la misma, los medios para realizarla y el entorno general de la obra, son aspectos que pueden afectar los rendimientos de la mano de obra. Los principales factores dentro de esta categoría son los siguientes:

- **Grado de dificultad.** La productividad se ve afectada al tener actividades con un alto grado de dificultad.

- **Riesgo.** El peligro al cual se ve sometido el obrero al realizar ciertas actividades, disminuye su rendimiento.
- **Discontinuidad.** Las interferencias e interrupciones en la realización de las actividades, disminuyen la productividad de la mano de obra.
- **Orden y aseo.** El rendimiento se ve favorecido con sitios de trabajo limpios y organizados.
- **Actividades predecesoras.** La calidad de la superficie o sitio de trabajo sobre la que se realizará una actividad, afecta los rendimientos de mano de obra.
- **Tipicidad.** Los rendimientos se ven afectados positivamente si existe un alto número de repeticiones de actividades iguales, ya que facilita al obrero desarrollar una curva de aprendizaje.
- **Tajo.** Si se dispone de un trabajo limitado a pequeños espacios, el rendimiento del obrero disminuye.

5.5 Equipamiento

El disponer del equipo apropiado para la realización de las diferentes actividades, su estado general, su mantenimiento y la reparación oportuna, afectan el rendimiento de la mano de obra. Los principales factores dentro de esta categoría son los siguientes:

- **Herramienta.** La calidad, estado y adecuación a la operación realizada, afecta el rendimiento.
- **Equipo.** El estado y la disponibilidad del mismo facilita la ejecución de las diferentes actividades.
- **Mantenimiento.** La oportunidad en el mantenimiento de equipos y herramientas afectan la productividad.
- **Suministro.** Disponer oportunamente del equipo y herramienta adecuada favorecen un alto desempeño del operario.
- **Elementos de protección.** Debe considerarse como parte del equipamiento, todos aquellos elementos de protección personal tendientes a garantizar la seguridad industrial, que como se dijo anteriormente, facilita la realización de actividades.

5.6 Supervisión

La calidad y experiencia del personal utilizado en la supervisión de las operaciones en la obra, influye considerablemente en la productividad esperada. Los factores que deben tenerse en cuenta en esta categoría son los siguientes

- **Criterios de aceptación.** El contar con criterios definidos de aceptación o rechazo de las diferentes actividades, facilita la labor de supervisión e influye positivamente en el rendimiento de la mano de obra.
- **Instrucción.** Al personal capacitado y con instrucciones claras, se le facilita la realización de las actividades.
- **Seguimiento.** El grado de supervisión en las diferentes etapas del proceso, facilita una mejor productividad.
- **Supervisor.** La idoneidad, experiencia y relación del maestro en relación con los obreros que supervisa, son factores que favorecen el desempeño del operario.
- **Gestión de calidad.** El desarrollo e implementación de sistemas de gestión de calidad en las empresas y su aplicación en los proyectos, crean el ambiente propicio para un aumento en la productividad.

5.7 Trabajador

Los aspectos personales del operario deben considerarse, ya que afectan su desempeño. Los factores que se incluyen en esta categoría, son:

- **Situación personal.** La tranquilidad del trabajador y de su grupo familiar, generan un clima propicio para la realización de las actividades. Definir políticas de recursos humanos y apoyo al trabajador, traerá como consecuencia efectos positivos sobre el rendimiento de la mano de obra.
- **Ritmo de trabajo.** El trabajo exigente y continuado agota naturalmente a los seres humanos. Se requiere definir políticas sobre descansos que garanticen un normal rendimiento del trabajador en sus actividades.
- **Habilidad.** Algunos obreros poseen o desarrollan habilidades independientemente del grado de capacitación alcanzado, favoreciendo la ejecución de las actividades y consecuentemente aumentando su productividad.
- **Conocimientos.** El nivel de capacitación alcanzado, así como su posibilidad de mejorarlo, favorecen en alto grado la mayor eficiencia de su labor.

- **Desempeño.** Algunas personas no ponen todo de sí en el desempeño de sus actividades. Esta situación debe ser controlable con un adecuado proceso de selección.
- **Actitud hacia el trabajo.** Se debe contar con trabajadores con actitudes positivas hacia la labor a realizar, para que dicha situación se refleje en un adecuado desempeño. Esta situación se logra con un buen sistema de selección de personal y con la existencia de buenas relaciones laborales.

6. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Considerando la recomendación del primer estudio, donde se describió la metodología a seguir para la toma de datos en obras en construcción, se seleccionaron los proyectos en los cuales se realizaría el estudio de rendimientos y consumos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Obras con un alto número de repeticiones.
- Obras en las cuales se tenga continuidad en las cuadrillas que ejecutan las actividades.
- Obras altamente organizadas.

Con los anteriores criterios, se seleccionaron las obras FLORES Y COLORES y ROSA DE LOS VIENTOS, ambos proyectos de vivienda de interés social, construidas por la empresa COMPACTO S.A. ubicados en el corregimiento de San Antonio de Prado y el Municipio de Copacabana, respectivamente.

Durante seis meses se realizaron múltiples observaciones y se tomaron datos suficientes para ser analizados estadísticamente, en formatos diseñados para tal fin, incluyendo la calificación de los factores de afectación descritos anteriormente.

Con suficientes datos, se procedió al análisis estadístico, cuyo objetivo principal fue el obtener consumos estándar en las actividades de construcción estudiadas y determinar la influencia de los factores de afectación en los consumos de mano de obra.

El proceso seguido para el análisis estadístico fue el siguiente:

- **Exportación de datos desde Microsoft Excel hacia Statgraphics.** Incluyendo todos los datos de identificación

de la actividad, cuadrillas, obra, tiempos observados, consumos, rendimientos y calificación de las variables independientes (factores de afectación del consumo).

- **Obtención de estadísticas básicas sobre el consumo de mano de obra.** Procesando todos los datos hallados del consumo de mano de obra en las múltiples observaciones, organizados por actividad de construcción, se determina para cada muestra promedio, mediana, moda, desviación estándar, varianza, rango, kurtosis, sesgo.
- **Determinar si la muestra seleccionada se distribuye normalmente.** Utilizando el criterio de que muestras en las cuales la Kurtosis y el sesgo estándar tengan valores por fuera del rango de -2 y 2 pueden alejarse de la normalidad y tiende a invalidar cualquier prueba estadística con relación a la desviación estándar, se define si es o no necesario eliminar datos extremos.
- **Eliminación de datos extremos.** Si el primer análisis estadístico arroja que los datos del consumo se apartan de una distribución normal, se procede a eliminar datos extremos, utilizando el siguiente criterio:

Límite superior = Cuartil superior + 1.5 desviación estándar

Límite inferior = Cuartil inferior - 1.5 desviación estándar

Se eliminan los datos por encima del dato superior y bajo el límite inferior. Nuevamente y sin datos extremos se procede a verificar que el consumo obtenido corresponda a una distribución normal.

- Prueba de bondad de ajuste. Utilizada para determinar si las observaciones realizadas son similares a lo esperado dentro de una distribución normal.

Una vez comprobado que los datos de consumo obtenidos dentro de un grupo de observaciones en una actividad de construcción, se ajustan a la distribución Gaussiana o normal, se procede con la segunda parte del análisis estadístico, en la cual se estudia la influencia de los factores de afectación (variables independientes) en el consumo de mano de obra de las actividades de construcción estudiadas.

- **Determinación de las correlaciones entre la variable dependiente y variables independientes.** Determinando el coeficiente de correlación y el valor de

la prueba (probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula), se establece si estadísticamente existe correlación entre el consumo y las variables independientes (factores de afectación).

- **Análisis de regresión.** Dependiendo si estadísticamente el consumo es influido por una o varias variables independientes (factores de afectación), resultantes de la determinación de correlaciones, se realiza una regresión lineal simple o múltiple, respectivamente. El objetivo principal en este análisis es hacer predicciones, con base en ecuaciones matemáticas del consumo de mano de obra de una actividad, teniendo en cuenta las calificaciones de las variables independientes que lo afectan. En los casos en que sea posible, se establecen modelos matemáticos de cada integrante de la cuadrilla (oficial y ayudante), para una actividad determinada. Igualmente se establece la ecuación para predecir el consumo de la cuadrilla.

7. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Los resultados de la investigación fueron los siguientes:

7.1 Consumos Estándar en Actividades de Construcción

Con los cuales se inicia la conformación de la base de datos sobre consumos de mano de obra en actividades de la construcción, estableciendo el rango de consumos entre límite superior e inferior, arrojando tres valores.

- Valor máximo, o sea el mayor consumo, cuando el obrero o la cuadrilla son menos eficiente,
- Valor promedio, con obreros cuya eficiencia en la productividad sea normal,
- Valor mínimo, o sea el menor consumo, cuando el obrero o la cuadrilla son más eficientes.

En aquellas actividades donde la cuadrilla que realiza el trabajo es individual, se establece el consumo para el obrero (oficial o ayudante); en actividades que utilizan cuadrillas múltiples o colectivas, se define el consumo de los obreros (oficial y ayudante) y el de la cuadrilla, que corresponde a la sumatoria de los dos anteriores.

FIGURA 1
Descripción del proceso de análisis estadístico

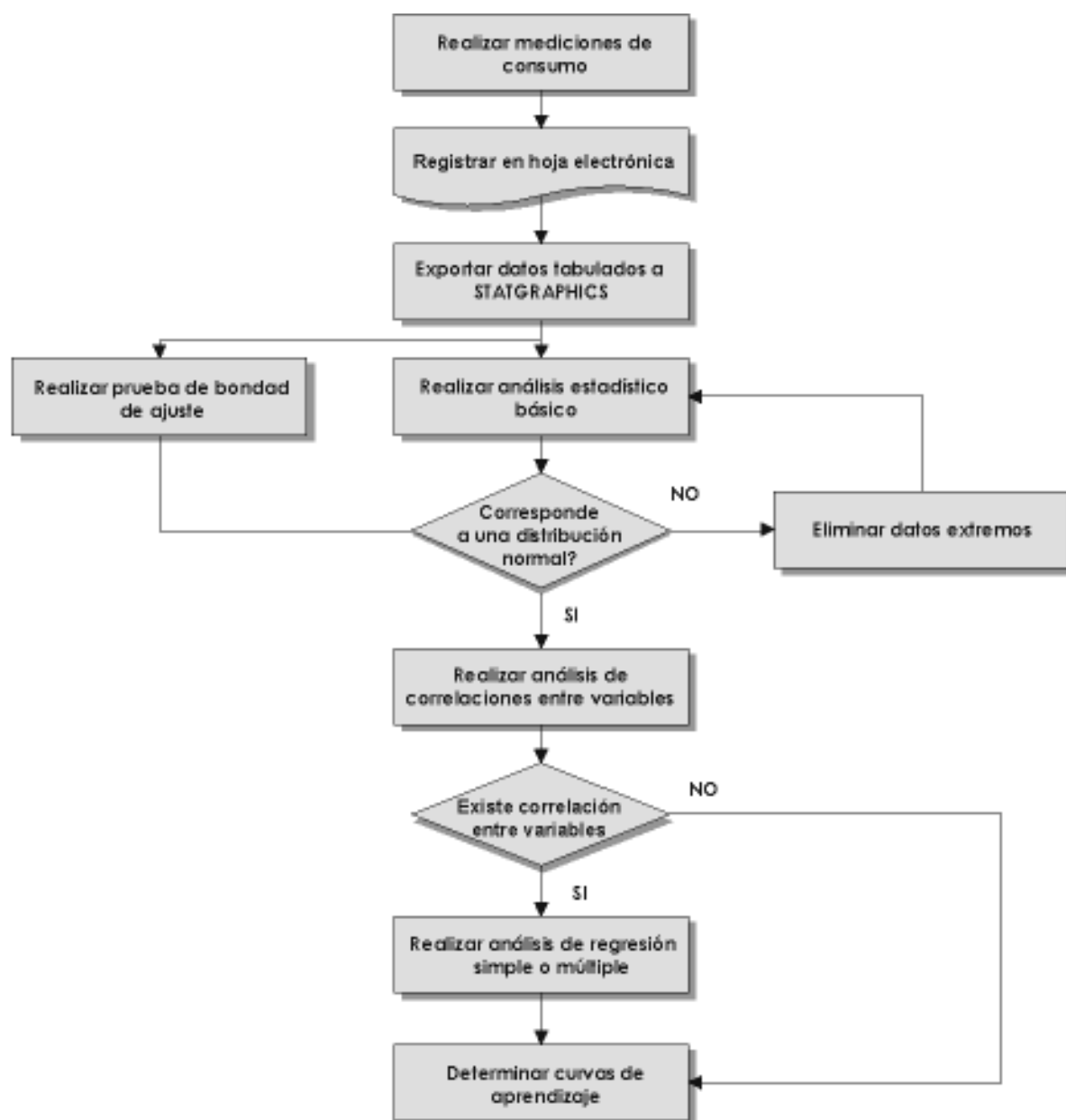


TABLA 3
Resultados consumos estándar en actividades de construcción.
Intervalo de confianza del 90%

ACTIVIDAD	UD	OBRERO	RANGO CONSUMO (hH. /ud)					
			CONSUMO INDIVIDUAL			CONSUMO CUADRILLA		
			Alto	Promedio	Bajo	Alto	Promedio	Bajo
Excavación material homogéneo	m3	Oficial						
		Ayudante	2.969	2.9327	2.896			
Excavación material heterogéneo	m3	Oficial						
		Ayudante	3.359	3.15056	2.941			
Vaciado vigas de fundación	m3	Oficial	0.3298	0.3217	0.3136			
		Ayudante						
Sobrecimiento bloque concreto	ml	Oficial	0.052	0.051	0.0497	0.1058	0.10337	0.1006
		Ayudante	0.0538	0.05237	0.0509			
Impermeabilización sobrecimiento	ml	Oficial						
		Ayudante	0.0273	0.02569	0.024			
Impermeabilización muro contención	m2	Oficial						
		Ayudante	0.0771	0.07288	0.0686			
Armado de filtro	ml	Oficial	0.1231	0.1178	0.1126	0.2453	0.234849	0.2244
		Ayudante	0.1222	0.117049	0.1118			
Mampostería en bloque concreto	m2	Oficial	0.213809	0.209841	0.205872	0.412039	0.403554	0.395062
		Ayudante	0.19823	0.193713	0.18919			
Mampostería en ladrillo cerámico	m2	Oficial	0.274303	0.263526	0.25275	0.431748	0.416142	0.400537
		Ayudante	0.157445	0.152616	0.147787			
Mampostería en bloque split	m2	Oficial	0.393629	0.359184	0.32474	0.726972	0.675498	0.624026
		Ayudante	0.333343	0.316314	0.299286			
Vaciado de grouting piso 1	ml	Oficial	0.0228	0.0217	0.0206			
		Ayudante						
Armado de losa formaleta metálica	m2	Oficial	0.2438	0.2315	0.219	0.659633	0.617597	0.57536
		Ayudante	0.415833	0.386097	0.35636			
Vaciado de losa formaleta metálica	m2	Oficial	0.07657	0.0717544	0.0669	0.15383	0.1447644	0.13557
		Ayudante	0.07726	0.07301	0.06867			
Enchape en cerámica	m2	Oficial	0.617659	0.591628	0.565597	0.965238	0.917482	0.869726
		Ayudante	0.347579	0.325854	0.304129			
Baldosa de cemento biselada	m2	Oficial	0.286307	0.280238	0.27417	0.503965	0.490238	0.476512
		Ayudante	0.217658	0.21	0.202342			
Cal en muros y cielos	m2	Oficial	0.0736501	0.0670641	0.0604781			
		Ayudante						
Cubierta en teja barro (armazón)	m2	Oficial	0.0504	0.0494	0.0483	0.06201	0.0605	0.05888
		Ayudante	0.01161	0.0111	0.01058			
Cubierta teja de barro (tablilla)	m2	Oficial	0.0567	0.0557	0.054718	0.08427	0.0827	0.081127
		Ayudante	0.02757	0.027	0.026409			
Cubierta teja de barro (fieltro)	m2	Oficial	0.004869	0.0047	0.004516	0.008425	0.0082	0.007864
		Ayudante	0.003556	0.0035	0.003348			
Cubierta en teja de barro (teja)	m2	Oficial	0.048846	0.0473941	0.045942	0.062399	0.0604941	0.058588
		Ayudante	0.013553	0.0131	0.012646			

7.2 Incidencia de los Factores de Afectación en los Consumos

- **CORRELACIONES.** En todas las actividades estudiadas se realizaron análisis de correlación, entre la variable dependiente (consumo de mano de obra) y las variables independientes (factores de afectación). Una alta correlación (coeficientes cercanos a 1 ó -1), expresan la relación lineal que tiene una variable independiente (positiva o negativamente) ,en el comportamiento de la variable dependiente (consumo).
- **ANÁLISIS DE REGRESIÓN.** El análisis de regresión permite establecer modelos ajustados expresados como ecuaciones que describen como se relaciona el valor medio o esperado de una variable dependiente, con una o varias variables independientes. En el primer caso se habla de una regresión simple; el segundo representa la regresión múltiple.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las correlaciones, donde se determinaron las variables que influyen en el consumo de mano de obra, se realizó el análisis de regresión para cada una de las actividades estudiadas, obteniéndose modelos ajustados que permiten predecir el consumo de mano de obra a partir de la calificación de las variables independientes (factores de afectación).

Debido a que se realizaron observaciones y registros de los obreros componentes de la cuadrilla (oficial, ayudante), se establecieron ecuaciones para cada uno de ellos. De igual forma, como el consumo de la cuadrilla corresponde a la sumatoria de los consumos de sus integrantes, también se presenta el modelo ajustado para ésta.

Algunos de los modelos definidos en el estudio para las cuadrillas de operarios en actividades de construcción, son los siguientes:

TABLA 4
Modelos de regresión lineal para consumo de mano de obra en actividades de construcción

ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN	ECUACIÓN DE REGRESIÓN
Vaciado vigas de fundación	0.335263-0.0100675* Ritmo de trabajo
Sobrecimiento bloque de concreto	0.0964393 - 0.00291006* Estado del tiempo - 0.00596313* Tajo
Armado filtro con cañuela y geotextil	0.393476 - 0.143072* Actividades precedentes - 0.024726* Discontinuidad
Mampostería en bloque de concreto	0.496985 - 0.0121185* estado del tiempo - 0.0125138* suelo - 0.0701584* tajo - 0.0421932* capacitación - 0.0176947* desempeño
Mortero de inyección	0.0241853 - 0.00415637* actitud hacia al trabajo
Mampostería en ladrillo cerámico	0.834208 - 0.0477508* discontinuidad - 0.113087* tajo - 0.352229* conocimiento
Armado de losa con formaleta metálica	0.567709-0.031415* Suelo - 0.0398833* discontinuidad
Vaciado de losa con formaleta metálica	0.130988 - 0.00370325* cubierta - 0.0102074* desempeño
Enchape en cerámica	0,896842 - 0,109137* Habilidad
Baldosa cemento	0.531166 - 0.0754587* Capacitación
Armazón cubierta teja barro	0,0628032 - 0,00292574* Estado del tiempo - 0,00259007* Discontinuidad
Impermeabilización en frío cubierta teja de barro	0,00990479 - 0,0013937* Situación personal
Colocación teja de barro	0,0530674 - 0,0261746* Grado de dificultad -0,0124767* Rendimiento

7.3 Análisis de Costos Mano de Obra a partir del Consumo Estándar

El consumo puede ser utilizado para determinar los costos de la actividad de construcción. En efecto, el resultado de multiplicar el mismo por el valor de una hora Hombre (ayudante u oficial) o por el valor de la cuadrilla, arrojará el valor de la mano de obra de la actividad considerada.

Para actividades que utilizan cuadrillas individuales:

- Valor mano de obra actividad =
Consumo obrero (hH) * Valor hora obrero

Para actividades que utilizan cuadrillas múltiples o colectivas

- Valor mano de obra actividad =
Consumo oficial (hH) * Valor hora oficial + Consumo ayudante (hH) * Valor hora ayudante.

Si se tiene el valor hora de la cuadrilla, entonces

- Valor mano de obra actividad =
Consumo cuadrilla (hC) * Valor hora cuadrilla.
- Valor hora ayudante. Se considera un salario mínimo de \$286.000 (año 2001) y un factor prestacional de 1.7394.

Valor hora ayudante =

$$\frac{\$286.000 / \text{mes}}{30 \text{ días / mes} * 8 \text{ horas / día}} * 1.7394 = \$2.073 / \text{hora}$$

- Valor hora oficial. Se consideran dos salario mínimos y un factor prestacional de 1.6527.

Valor hora oficial =

$$\frac{\$572.000 / \text{mes}}{30 \text{ días / mes} * 8 \text{ horas / día}} * 1.6527 = \$3.938 / \text{hora}$$

Partiendo de las formulas enunciadas anteriormente, se calculó el valor de la mano de obra en las actividades de construcción analizadas, comparándolas con los valores establecidos por la compañía constructora COMPACTO, quien adelanta las obras donde se realizó el estudio., arrojando los siguientes resultados:

TABLA 5
Porcentaje costo pagado / costo estudio en actividades de construcción

ACTIVIDAD	UD	Precio pagado	Precio según estudio	% Precio pagado/ precio estudio
Excavación en material homogéneo	m3	5310	6079	0.87
Excavación material heterogéneo	m3	5310	6531	0.81
Vaciado vigas de fundación	m3	2183	1267	1.72
Sobrecimiento bloque concreto	ml	860	309	2.78
Impermeabilización sobrecimiento	ml	412	53	7.74
Impermeabilización muro contención	m2	1480	151	9.80
Armado de filtro	ml	4433	707	6.27
Mampostería en bloque concreto	m2	2320	1228	1.89
Mampostería en ladrillo cerámico	m2	3625	1354	2.68
Mampostería en bloque Split	m2	3625	2070	1.75
Vaciado de grouting	ML	814	85	9.53
Armado de losa formaleta metálica	m2	3840	1712	2.24
Vaciado de losa formaleta metálica	m2	1420	434	3.27
Enchape en cerámica	m2	5150	3005	1.71
Baldosa de cemento biselada	m2	3000	1547	1.94
Cal en muros y cielos	m2	300	264	1.14
Cubierta en teja barro(armazón)	m2	1825	218	8.39
Cubierta teja de barro (tablilla)	m2	1825	275	6.63
Cubierta teja de barro (fieltro)	m2	400	26	15.53
Cubierta en teja de barro (teja)	m2	1350	214	6.31

7.4 Software para el Cálculo del Consumo de Mano de Obra en Actividades de Construcción

Como aplicación práctica a la investigación realizada y teniendo en cuenta los resultados de los análisis estadísticos de las diferentes actividades de construcción estudiadas, esta investigación se complementa con el desarrollo del software **"CONSUMOS"**, que permite predecir de acuerdo con la calificación de los factores de afectación, el consumo individual de los obreros o de la cuadrilla en diecisiete actividades de construcción en el sistema de mampostería estructural.

8. CONCLUSIONES

- Esta investigación fue realizada como continuación al primer estudio desarrollado por los Ingenieros Antonio Cano R y Gustavo Duque V, en el cual se planteó una metodología de la toma de datos en obra, para su posterior análisis, determinando los factores de afectación que influyen en los consumos y rendimientos de mano de obra en actividades de construcción.

Con algunas modificaciones propuestas en los formatos de captación de datos, que simplifican su identificación para agilizar el proceso de análisis estadístico, se puede concluir que el modelo planteado se ajusta a las necesidades de los investigadores interesados en continuar enriqueciendo la base de datos con mas observaciones a las actividades estudiadas o con nuevas actividades de otros sistemas constructivos.

- Nuevos proyectos y observaciones realizadas en diferentes obras, ayudarán a precisar los resultados obtenidos como consumos estándar y modelos de regresión lineal que consideran los factores de afectación en el cálculo del consumo de mano de obra. De esta forma, la base de datos incluirá cada vez más resultados confiables de los consumos de mano de obra que pueda ser utilizada por los profesionales y las empresas constructoras, facilitando las labores de planeación y control de los proyectos, encaminadas al mejoramiento de la productividad del recurso humano en el sector.

Para el cumplimiento de este objetivo, es necesario que todos los futuros trabajos realizados con el tema, utilicen la metodología propuesta y se centralice la recopilación de la información, así como los análisis estadísticos

facilitando el nexo entre la academia y el sector productivo.

- Las ecuaciones presentadas como modelos para predecir el consumo de la mano de obra teniendo en cuenta los factores de afectación, muestran la significativa correlación entre el consumo y algunas variables independientes. Es decir, son estadísticamente válidos y responden a una tendencia después de procesar y analizar múltiples observaciones.
- Una vez comparados los costos pagados por la empresa COMPACTO a los diferentes subcontratistas de mano de obra con los resultantes de la presente investigación, se puede concluir que el sistema tradicional de remuneración en los proyectos de construcción en nuestro medio, no consideran la productividad de las cuadrillas que realizan los trabajos, convirtiéndose en un sistema desequilibrado e injusto para ambas partes, generando en algunas oportunidades inconvenientes que no favorecen el normal desarrollo del proyecto. La base de datos desarrollada debe utilizarse como punto de referencia para el sistema de pagos y para la evaluación del desempeño de mano de obra en proyectos de construcción.
- La gran diferencia entre los precios pagados a los subcontratistas y los analizados de acuerdo con el desempeño de sus trabajadores en la mayoría de las actividades de este estudio, permiten concluir que el constructor subsidia la improductividad de la mano de obra, generada por múltiples factores atribuibles a la poca gestión en la supervisión de algunos subcontratistas o a deficiencias en las etapas de planeación y control de algunos profesionales encargados de la dirección y el desarrollo de las obras.
- Los nuevos proyectos de investigación encaminados a la medición de la productividad y metodologías para su mejoramiento, pueden tomar como punto de partida los consumos estándar determinados en este trabajo. Una vez implementados los modelos de mejoramiento, se requerirán nuevas mediciones comparables con las presentadas en esta investigación, las cuales determinarán el efecto generado por los programas implementados.
- Esfuerzos conjuntos entre los sectores académico y productivo deben continuarse si se desea mejorar la competitividad del sector de la construcción en nuestro país, garantizando la divulgación y aplicación de investigaciones realizadas en proyectos de construcción.

Como aplicación práctica a la investigación realizada y teniendo en cuenta los resultados de los análisis estadísticos de las diferentes actividades de construcción estudiadas, esta investigación se complementa con el desarrollo del software "CONSUMOS", que permite predecir de acuerdo con la calificación de los factores de afectación, el consumo individual de los obreros o de la cuadrilla en diecisiete actividades de construcción en el sistema de mampostería estructural.

AGRADECIMIENTO

El autor expresa sus agradecimientos a :

Maria Clara Mena Mejía, Sonia María Garzón Gómez, Jorge Alberto Guzmán Londoño, Alejandro Sánchez Gómez; estudiantes del pregrado de Ingeniería Civil, de la Universidad Eafit, por su vinculación y participación en el proyecto.

Marta Eugenia Álvarez Villa, Ingeniera Industrial, Profesora tiempo completo Universidad EAFIT, por sus valiosas orientaciones en el análisis estadístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Cano, Antonio. Duque, Gustavo. (2000). Rendimientos y consumos de mano de obra. Medellín: SENA - CAMACOL., 48 p
- Farias, Julio. Alarcon, Luis Fernando. (1991). Aspectos motivacionales de los trabajadores de la construcción. En: *Revista apuntes de Ingeniería*. Santiago de Chile: **No. 42.** pp. 59 - 86.
- Johnson, Richard. (1997). Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 630 p.
- Newbold, Paul. (1998). Estadística para los negocios y la economía. Madrid: Prentice Hall. 752 p.
- Oglesby, Parker and Howell. (1998). Productivity Improvement in Construction. New York: Mc.Graw-Hill Publishing Company. 588 p
- Page, John S. (1997). Estimator´s general construction man - hour. Houston: Gulf Publishing company. 252 p.
- Page, John S. (1996). Conceptual cost estimating manual. Houston: Gulf Publishing company: 326 p.

